

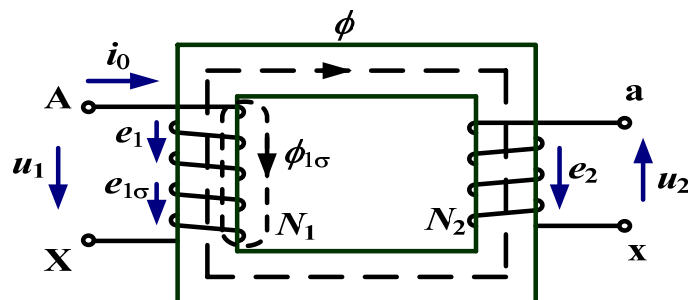
2. 变压器空载运行

空载：变压器一侧绕组接到电源（初级 1，一次绕组），另一侧绕组（次级 2，二次绕组）开路

- | | |
|--------------|-----------------|
| 1 电磁物理现象 | 5 励磁特性的电路模型 |
| 2 正方向 | 6 漏抗 |
| 3 感应电动势、电压变比 | 7 电路方程、等效电路和相量图 |
| 4 励磁电流 | |



I. 电磁物理现象

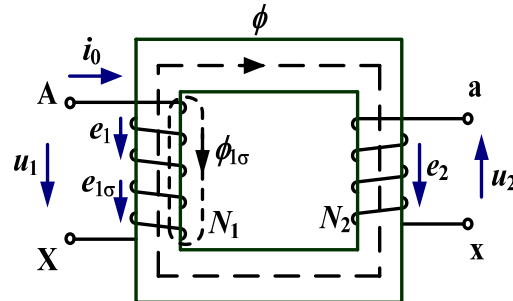


变压器空载运行

- 空载电流 i_0 , $i_1=i_0$, 全部用以励磁, 励磁电流 i_m , $i_0=i_m$ 。励磁电流产生励磁磁势 $i_m N_1$, 建立交变磁场
- 磁场的磁通分为主磁通 Φ 和漏磁通 $\Phi_{1\sigma}$ 两个部分



I. 电磁物理现象



Q: 在变压器的绕组通入 () , 变压器才能够实现变压的目的。

A 直流电 B 交流电 C 直流电或交流电均可以 D 带有直流偏置的交流电



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

3/12

主磁通和漏磁通区别

(1) 作用不同

- - 主磁通 ϕ 传递能量, 交链初级、次级绕组, 磁路磁阻较小, 并感应出 e_1 和 e_2
- - 漏磁通 $\phi_{l\sigma}$ 只交链初级绕组, 磁路磁阻较大, 只消耗磁势, 只起磁压降作用

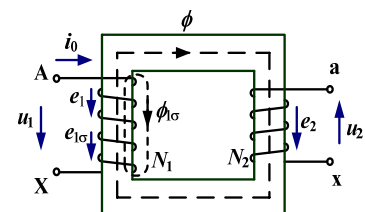
(2) 特性不同

- - 主磁通和电流非线性关系 (B、H, 铁芯)
- - 漏磁通和电流线性关系 (空气)
- “主磁通通过互感作用传递功率, 漏磁通不传递功率”。
- 变压器铁芯由高导磁材料硅钢片制成 ($\mu_r > 2000$)

大部分磁通都在铁芯中流动

主磁通 ϕ 约占总磁通的99%强

漏磁通 $\phi_{l\sigma}$ 占总磁通 < 1%



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

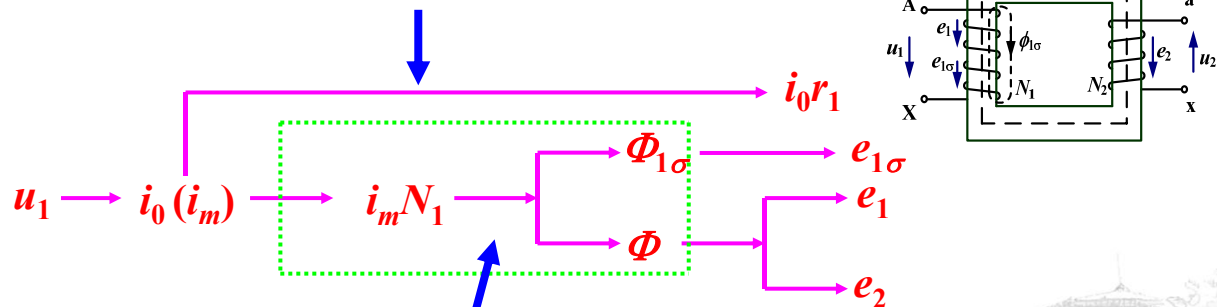
南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

4/12

I. 电磁物理现象

Φ 与 $\Phi_{1\sigma}$ 都是交变磁通 \rightarrow 在绕组中感应交变电势

i_0 还在一次绕组中产生电阻压降



虚框以内为**磁路**性质，以外为**电路**性质



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

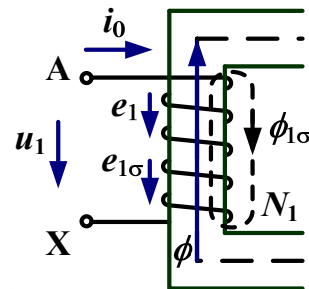
南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

5/12

II. 正方向的规定

- 物理量的**箭头**方向表示**正方向**
- 规定**电流**的正方向与该电流所产生的**磁通**正方向符合“**右手螺旋**”定则
- 规定**磁通**的正方向与其**感应电势**的正方向符合“**右手螺旋**”定则
- 电流**正方向与**电势**正方向一致

$$\longrightarrow e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

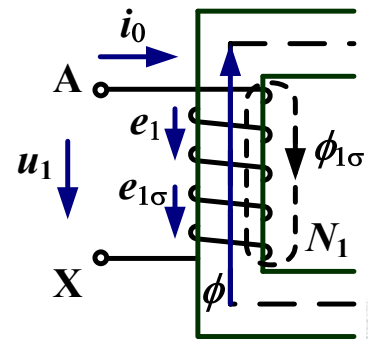
南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

6

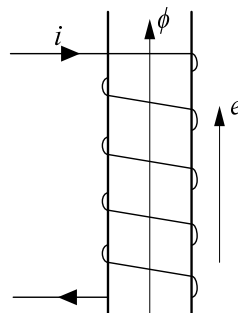
II. 正方向的规定

➤ 方向规定：电压 u_1 与电流 i_0 同方向，磁通 Φ 正方向与电流 i_0 正方向符合右手螺旋定则， e 的正方向与电流 i_0 同方向，这样 $e_1 = -N_1 d\Phi/dt$ 成立

例如 Φ 正在增加， $d\Phi/dt$ 为正， $e_1 = -N_1 d\Phi/dt < 0$ 为负。若外电路能使 e_1 产生电流 i' ，其电流方向必与 i_0 正方向相反，该电流产生磁通 Φ' 与 Φ 方向相反，起阻止 Φ 增加的作用，即符合楞次定律

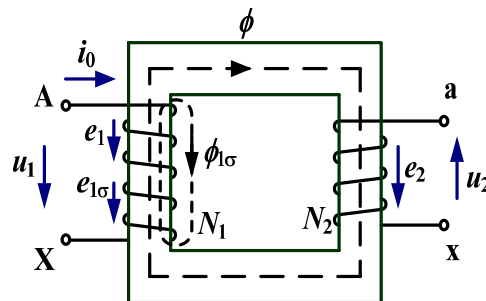


Q: 磁通 ϕ 、电动势 e 的正方向如下图所示，则 N 匝线圈感应的电动势 e 为 ()。



A $d\phi/dt$ B $Nd\phi/dt$ C $-Nd\phi/dt$ D 不确定





其他量的正方向（参考方向）如图所示

$$u_1 = i_0 r_1 - e_1 - e_{1\sigma}$$

$$u_2 = e_2$$



磁通、感应电动势、电压的关系

- 空载时 $i_0 r_1$ 和 $e_{1\sigma}$ 很小，如略去不计，则电压 $u_1 = -e_1$
- 如 u_1 按正弦规律变化，则 Φ 和 e_1 、 e_2 都按正弦变化

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t \rightarrow$$

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} = -N_1 \omega \Phi_m \cos \omega t = N_1 \omega \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) = E_{1m} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 \omega \Phi_m \cos \omega t = N_2 \omega \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) = E_{2m} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

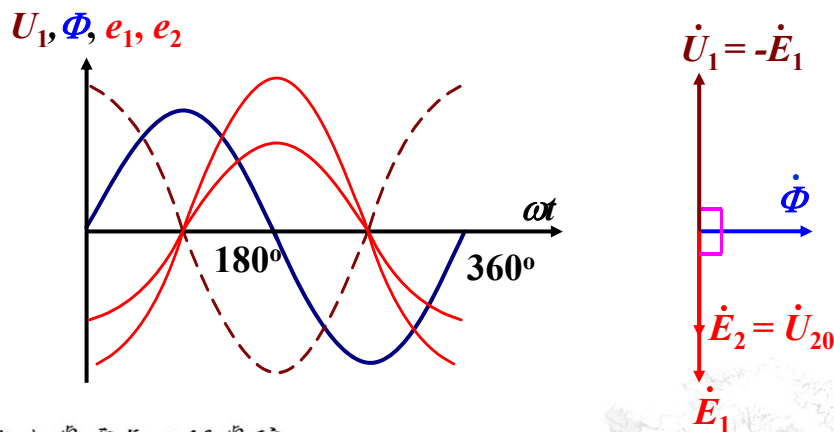
$$E_{1m} = N_1 \omega \Phi_m = 2\pi f N_1 \Phi_m \quad E_{2m} = N_2 \omega \Phi_m = 2\pi f N_2 \Phi_m$$

有效值: $E_1 = E_{1m} / \sqrt{2} = \sqrt{2} \pi f N_1 \Phi_m = 4.44 f N_1 \Phi_m$

$$E_2 = E_{2m} / \sqrt{2} = \sqrt{2} \pi f N_2 \Phi_m = 4.44 f N_2 \Phi_m$$



- 由磁通 $\dot{\Phi}$ 产生感应电动势, \dot{E}_1 、 \dot{E}_2 在时间相位上滞后于磁通 $\dot{\Phi}$ 90°



III. 电压变比

- 变比的定义: 初级电压与次级空载时端点电压之比
 ➤ 变比 k 取决于初级、次级绕组匝数比
 ➤ 略去电阻压降和漏磁电势

$$E_1 = E_{1m} / \sqrt{2} = \sqrt{2} \pi f N_1 \Phi_m = 4.44 f N_1 \Phi_m$$

$$E_2 = E_{2m} / \sqrt{2} = \sqrt{2} \pi f N_2 \Phi_m = 4.44 f N_2 \Phi_m$$

$$\longrightarrow k = \frac{U_1}{U_{20}} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

